

Réaction acido-basique en T.P. avec utilisation du logiciel pH

par Muryel MIRAMOND
Lycée Janson de Sailly, 75016 Paris

PRÉSENTATION DE LA SÉANCE DE T.P.

Cette manipulation est un exemple d'utilisation en classe de TC du logiciel pH de chez Langage et Informatique.

L'intérêt de cette expérimentation est de montrer que, pendant la durée d'une séance de T.P. normale (1 h 30), on peut réaliser une étude expérimentale et théorique, très détaillée, grâce à l'ordinateur, outil puissant et rapide. L'exploitation théorique a été reprise en cours, chaque élève disposant alors de l'ensemble des courbes enregistrées pendant la séance de T.P., et le professeur guidant cette interprétation en projetant ces mêmes documents avec un rétroprojecteur.

La séance de T.P. s'est déroulée de la façon suivante :

1^{ère} étape

- 7 groupes ont tracé point par point la courbe $\text{pH} = f(V_b)$.
- 1 groupe de 3 élèves a fait la même chose avec l'ordinateur relié au milieu réactionnel par l'intermédiaire du pH-mètre et d'une carte candibus, et par ailleurs à une imprimante (voir courbe 1).

2^{ème} étape

- Tous les groupes se rassemblent autour de celui qui pilote le logiciel.

Le professeur se trouve par côté, avec un tableau blanc et conduit et oriente les débats pour suggérer les études proposées dans les documents joints aux courbes 2 à 9, documents qui ont été ainsi enregistrés devant les élèves, en direct, par les 3 élèves pilotes réalisant toutes les commandes du logiciel, avec une aisance surprenante.

3^{ème} étape

Une dernière vérification expérimentale s'avère intéressante : elle est réalisée par tous les groupes qui retournent à leur table de travail, celui qui commande l'ordinateur fait la même chose et enregistre le document correspondant à la courbe 10.

La séance de T.P. est alors terminée.

Cependant, les prolongements détaillés correspondant aux propositions des pages accompagnant les courbes 2 à 9 sont repris au cours suivant comme je l'ai indiqué en préambule.

Je pense que ce document peut inciter certains collègues à se lancer dans cette forme d'enseignement qui présente l'intérêt de laisser une grande place à l'initiative et à l'interprétation des phénomènes observés sans la contrainte du temps puisque l'ordinateur travaille vite et bien.

OBJECTIFS

1°/ étudier la réaction entre l'acide faible et la base forte.

2°/ déduire de cette étude :

- 1 - les conditions d'un bon dosage par colorimétrie ;
- 2 - mise en évidence de la notion de solution tampon.

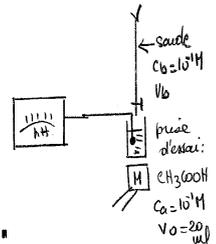
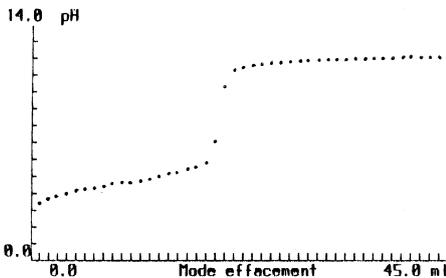
COURBES TRACÉES ET CONSIGNES D'ÉTUDE

Courbe 1 : Allure générale des variations $\text{pH} = f(V_b)$

(V_b : volume de soude versée)

Courbe étudiée : acquisition

pH-mètre : Type (-5U, +5U)



Mode de :

pH : automatique
Volume : échantillonnage

Paramètres

Volume minimum : 0.0 ml
Volume maximum : 45.0 ml
Pas de : 1.0 ml

	SOLUTION	CONCENTRATION (en mol/l)	VOLUME (en ml)
Becher :	acide éthanóique	0.1	20.0
Burette :	soude	0.1	

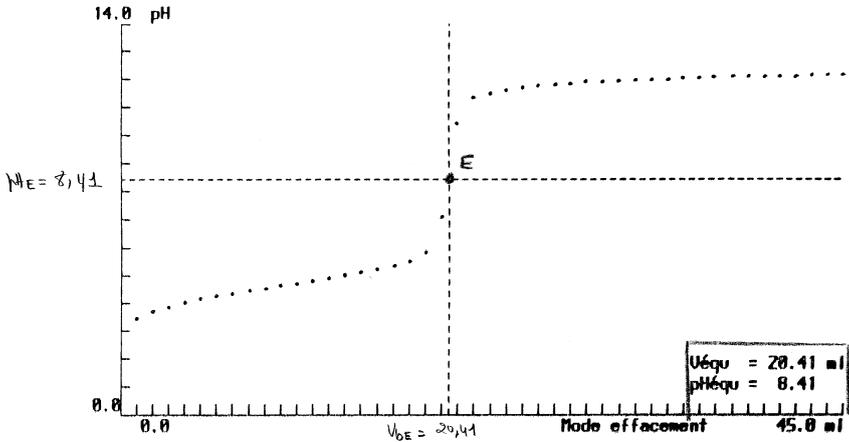
- 1^{ère} partie : $0 \leq V_b \leq 2$ mL
- 2^{ème} partie : $2 \leq V_b \leq 19$ mL
- 3^{ème} partie : le saut de pH autour du point d'inflexion E
 $19 \leq V_b \leq 21$ mL
- 4^{ème} partie : $V_b \geq 21$ mL

→ existence de 2 points d'inflexion E à l'équivalence

I à la $\frac{1}{2}$ équivalence.

→ remarques générales.

Courbe 2 : Repérage du point d'inflexion E : E est le point d'équivalence.

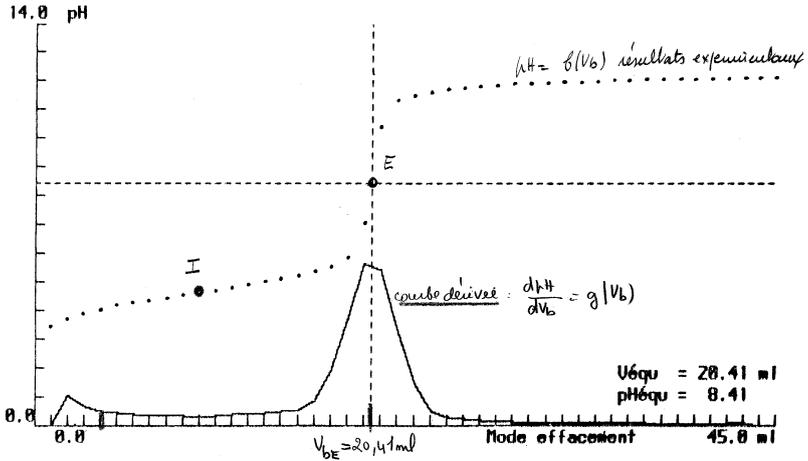


- Les coordonnées de ce point E :

E $V_{bE} =$
 $pHE =$

- Remarque : $pHE > 7$

Courbe 3 : Courbe dérivée $\frac{dpH}{dV_b} = g(V_b)$ accompagnant les variations $pH = f(V_b)$



1. INTÉRÊT DE CETTE COURBE

Repérage particulièrement commode du point d'inflexion E :

E correspond à $\left(\frac{dpH}{dV_b}\right)$ maximal.

Distinction très nette des 4 parties distinctes au cours de l'évolution du milieu réactionnel.

2. INTERPRÉTATION THÉORIQUE DES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DANS LE MILIEU RÉACTIONNEL

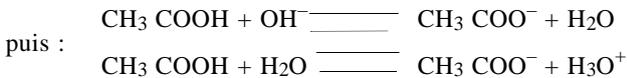
En précisant essentiellement :

- les réactions prépondérantes qui imposent le pH du milieu réactionnel,
- les solutions équivalentes.

• 1^{ère} partie

$0 \leq V_b \leq 2$ mL

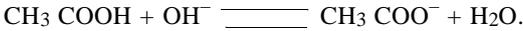
1^{er} pic de la courbe dérivée



(hydrolyse partielle de l'acide CH_3COOH $\rho \ll 1$).

• **2^{ème} partie**

$2 \leq V_b \leq 19$ ml.



• **3^{ème} partie**

Le saut de pH au voisinage de E :

- c'est la fin de la réaction acide-base précédente,
- définition de l'équivalence acido-basique,
- la solution est une solution d'éthanoate de sodium qui impose le $\text{pH} > 7$.

• **4^{ème} partie**

$V_b > 20$ ml

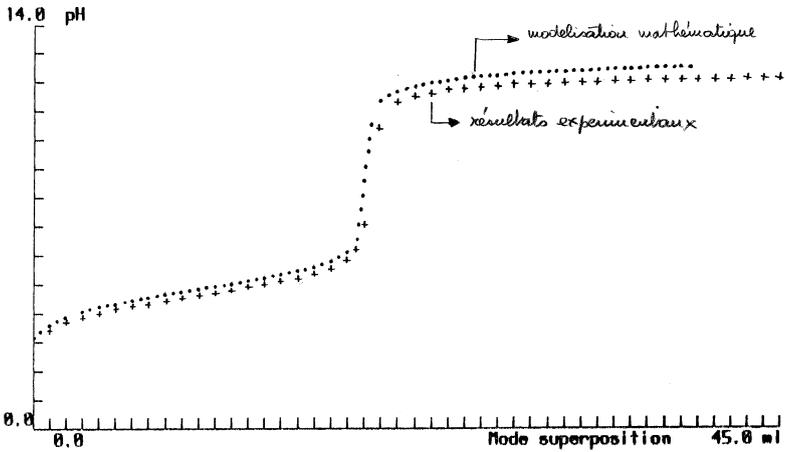
- au-delà de l'équivalence E, OH^- en excès impose le pH,
- $\text{pH} \rightarrow \text{pH}_1$

3. CONSÉQUENCES

1°/ Intérêt de la relation entre CA, V_O , CB, V_{bE} à l'équivalence pour la détermination d'une concentration inconnue \rightarrow application au dosage acido-basique.

2°/ Mise en évidence au voisinage de I d'un zone tampon ; composition de ce milieu.

3°/ $\text{pH} = \text{pKA}$ pour $\frac{1}{2}$ équivalence (avec cette concentration de l'acide éthanoïque).

Courbe 4 : Modélisation mathématique des résultats expérimentaux par l'ordinateur.1 - Observation :

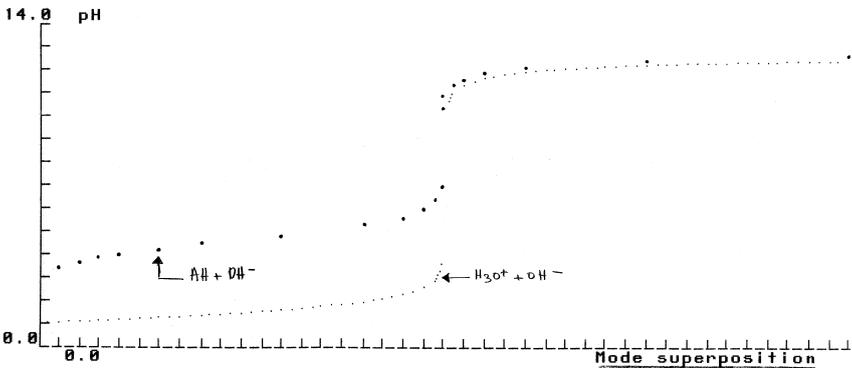
Bon accord entre les pH mesurés et les pH calculés par l'ordinateur.

2 - Intérêt :

On peut faire appel à cette puissance et à cette rapidité de calcul de l'ordinateur pour observer en un temps très court l'influence de divers paramètres sur ces variations de pH.

Courbe 5 : Comparaison des résultats dans les 2 cas :

- Acide faible - base forte ••• ($AH + OH^+$)
- Acide fort - base forte ... ($H_3O^+ + OH^-$)



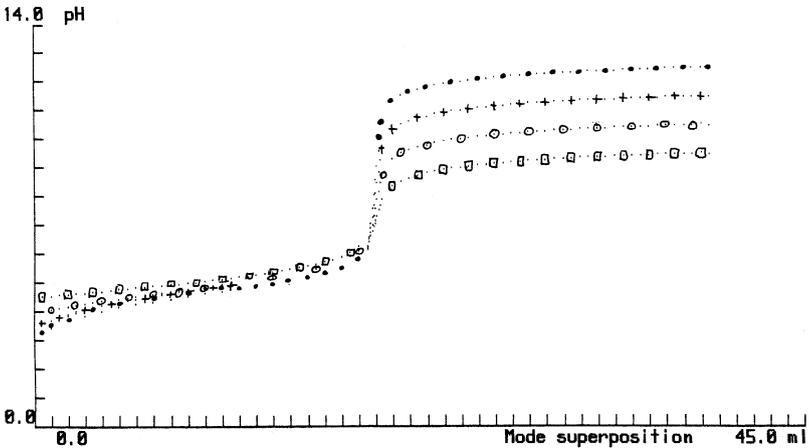
Pour la réaction entre un acide faible et une base forte
 Pour la réaction entre un acide fort et une base forte
 (CA = CB)

- 1 - Les différences essentielles.
- 2 - Les points communs.

Courbe 6 : Influence de la dilution des solutions :

CA = CB = 10^{-1} mol.L⁻¹ ●●●
 10^{-2} mol.L⁻¹ +++
 10^{-3} mol.L⁻¹ o o o
 10^{-4} mol.L⁻¹

pH = f (V_b) (tracés obtenus par modélisation mathématique).



1 - Ce qu'on observe :

- au voisinage de 0 à 2 ml pour V_b,
- pour $2 \leq V_b \leq 19$ mL,
- pour V_{bE},
- pour V_b > V_{bE}.

2 - Interprétation :

• 1^{ère} partie V_b < 2 mL

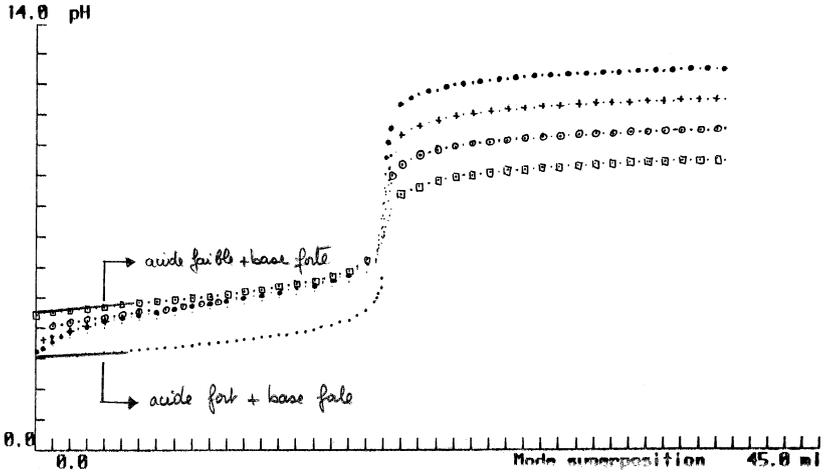
L'hydrolyse partielle de l'acide exédantaire devient plus complète, l'acide faible tend à se comporter comme un acide fort lorsque la dilution augmente.

• 2^{ème} partie V_b ~ $\frac{1}{2}$ V_{bE}

pour C_A = C_B = 10^{-4} mol.L⁻¹, pH_I ≠ pK_A

• 4^{ème} partie pour V_b > V_{bE}.

Courbe 7 : Vérification de ce qu'un acide faible tend à se comporter comme un acide fort, à dilution « infinie ».

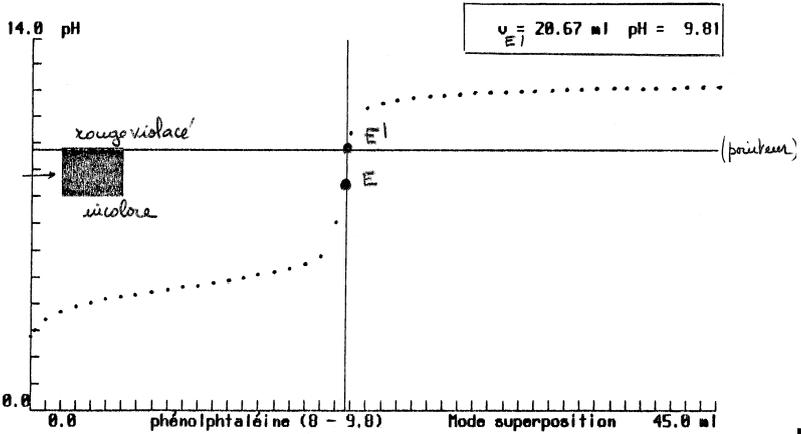


Observer l'allure des graphes $\text{pH} = f(V_b)$ dans les 2 cas et noter l'analogie de ces variations pour $V_b \leq 2 \text{ mL}$.

Application des résultats précédents à la détermination des conditions expérimentales judicieuses pour réaliser un bon dosage par colorimétrie :

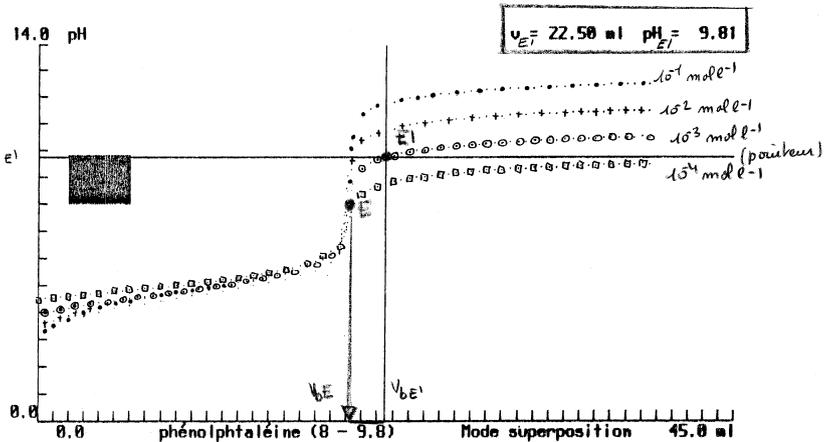
- 1° Choix de l'indicateur coloré approprié.
- 2° Condition de concentration des solutions à doser.
- 3° Vérification expérimentale en déterminant l'erreur relative sur le volume V_E .

Courbe 8 : Choix de l'indicateur coloré le plus approprié, pour la détermination du volume équivalent V_{Eb} =



- Observons : $V_{bE'} = 20,67 \text{ ml}$
 $V_{bE} = 20,41 \text{ ml}$ \Rightarrow écart relatif $\frac{\Delta V_{bE}}{V_{bE}}$
- Conclusion : ce choix dépend du pHE et de la zone de virage de l'indicateur - coloré $\frac{pK_A + 1}{pK_A - 1}$ pour I.C.

Courbe 9 : Influence de la concentration de la solution à doser sur la précision du dosage par colorimétrie : (modélisations mathématiques par l'ordinateur)



Observons :

- le pointeur repère la fin du virage de la phtaleine de phénol pour $V_b = 22,50 \text{ mL}$ pour $C_A = 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$,
- l'équivalence se produit pour $V_{bE} = 20,41 \text{ mL}$,
- l'erreur relative commise est donc $\frac{\Delta V_{bE}}{V_{bE}}$
 - 10 % à celle dilution ($C_A = 10^{-3} \text{ M}$). Ce qui est inacceptable !
 - alors qu'elle est de 2,5 % pour $C_A = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

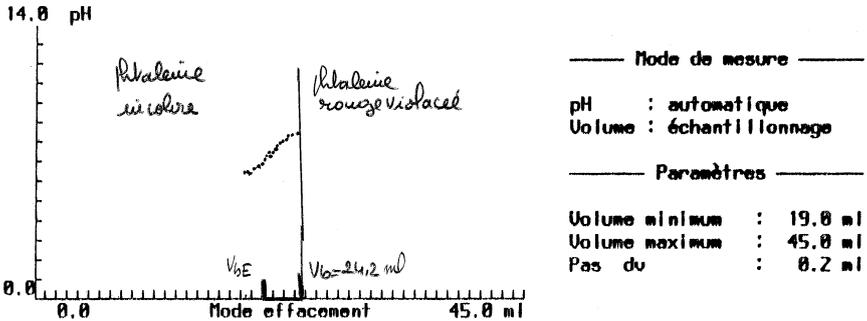
Conclusion : la solution à doser ne doit pas être trop diluée pour que la précision du dosage reste convenable : 1 à 2 %.

Courbe 10 : Vérification expérimentale du virage de la phtaleine de phénol pour $V_b \gg V_{bE}$ dans le cas d'une solution trop diluée d'acide : $C_A = 10^{-3} \text{ M}$:

$\frac{\Delta V_{bE}}{V_{bE}}$ trop grand : condition expérimentale à ne pas choisir !...

Courbe étudiée : acquisition

pH-mètre : Type (-5U, +5U)



Mesure automatique, échantillonnage	27
Volume lu sur la burette :	24.2
pH mesuré :	5.3

Conclusion : pour conduire un bon dosage par colorimétrie :

- il faut que l'intervalle de virage de l'indicateur coloré, contienne la valeur de pH_E ,
- il faut que la solution à doser ait une concentration de $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ plutôt que $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

CONCLUSIONS PÉDAGOGIQUES

- 1 - l'intérêt des élèves pour ce type d'étude est immense ;
- 2 - leur aisance à utiliser le logiciel seul est grande ;
- 3 - ce travail développe leur goût à innover, à chercher à faire quelque chose d'autre, donc c'est une évolution vers plus :
 - d'autonomie,
 - d'imagination,
 - de réflexion.

Annexe

Logiciel fourni aux élèves avant la séance de T.P.

- 1 Mise en route de l'imprimante
- 2 Mise en route de l'ordinateur (POWER)
C :
- 3 Placer le logiciel en voie A
- 4 au clavier A : $_$ attendre ; on voit alors :
A : >
- 5 Appeler le logiciel : taper pH $_$
on est entré dans le logiciel
un menu apparaît en haut de l'écran
 - pour passer d'une fenêtre à l'autre de ce menu utiliser les flèches $\uparrow \downarrow \leftarrow \rightarrow$
 - pour sortir de l'un de ces sous-menus : touche ESC
- 6 **Se placer dans Acquisition** $_$ pour réaliser l'étalonnage du pH-mètre : (sous-menu) $_$

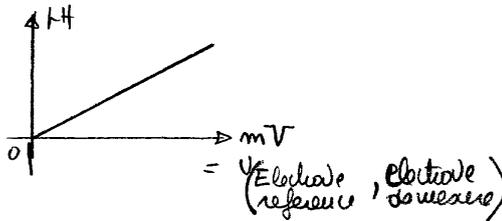


figure 1

on souhaite avoir une courbe d'étalonnage semblable à celle de la figure 1 :
il faut, pour cela régler

- ① l'ordonnée à l'origine pour que la courbe passe par (0,0) :
utiliser une solution tampon 7 ou le dispositif électronique (simulateur) à pH = 7 et agir sur le bouton STANDARDISATION du pH-mètre pour lire sur l'écran de l'ordinateur pH = 7 - (on ne se préoccupe pas de l'écran du pH-mètre) bien sur le pH-mètre a été mis, au préalable en position mesure de pH ! ...
- ② la pente de la courbe d'étalonnage :••
prendre un tampon 1 ou le simulateur sur le pH = 1 et régler le bouton TEMPÉRATURE du pH-mètre pour lire sur l'écran de l'ordinateur pH = 1
- ③ vérifier l'indication de l'ordinateur avec un autre tampon. Si cela ne va pas, recommencer en ①. Le pH-mètre associé à l'ordinateur peut alors fonctionner pour fonctionner en temps réel ; il faut cependant régler et indiquer à l'ordinateur qui va gérer ces acquisitions quelques informations complémentaires concernant l'expérience qu'il va piloter !

pour cela :

- 7 Se placer dans le menu **PARAMÈTRES**
- type de pH-mètre : (- 5 V, + 5 V)
 - type du dosage :
 - pH saisi automatiquement
 - paramètre du dosage : Valeurs libres (des volumes de soude versée, que vous entrerez au clavier avec les valeurs souhaitées).
Volume minimum 0
Volume maximum 45 ml.
- 8 Le pH-mètre + ordinateur vont pouvoir fonctionner si vous le leur indiquez : pour cela se placer dans **ACQUISITION**
- le sous menu étalonnage du pH-mètre (déjà fait) vous permet de vérifier le pH indiqué pour la solution de départ utilisée)
l'ensemble est prêt pour une acquisition, mais l'ordinateur souhaite donner un nom à l'expérience qu'il va piloter - il faut alors se placer dans le sous menu
 - paramètres pour l'acquisition :
 - nom de la solution dans le becher : le taper au clavier
 - nom de la solution dans la burette : le taper au clavier
 - concentrations etc...
- Dès la fin de ces acquisitions, ces informations apparaîtront dans la zone d'affichage des caractéristiques de l'expérience
- le dispositif est prêt tout à fait pour l'expérience ! ...
- 9 - entrez au clavier la valeur du volume de soude introduit.
Dès que vous validez par , le pH de la solution est enregistré et le point figuratif (pH, V_B) apparaît dans le diagramme $\text{pH} = f(V_B)$ de l'ordinateur
- versez la soude
entrez la valeur de ce volume V_B au clavier
pH enregistré
le point figuratif apparaît
 - etc... jusqu'à ce que le volume maximal indiqué dans les paramètres du dosage soit atteint.
- 10 Enregistrez votre expérience sur une disquette ; pour cela il faut utiliser le répertoire : TC 10 qui a été créé pour la classe 1991-92, et donner un nom de fichier personnel pour reconnaître vos mesures parmi celles de vos camarades : je conseille de donner comme nom de fichier la première lettre des noms de famille des élèves qui ont participé à cette expérience (exemple : Dupont, Durand, Dufo - nom de fichier : DDD).
- Pour cela : se rendre dans le menu à la fenêtre **FICHER**
- placer la disquette de sauvegarde dans la voie A.
 - appeler le sous-menu RÉPERTOIRE
choisir ou taper A : nom du répertoire «TC 10»

- sous menu : sauver :
- le curseur en haut de la fenêtre de saisie vous invite à donner le nom du fichier de mesures que vous voulez sauvegarder ; taper par exemple DDD
- l'ordinateur travaille : clignotant rouge sur la voie A

C'est terminé ! - il s'agit maintenant d'exploiter ces résultats - Cependant vous devez encore sortir ces résultats sur papier ! ...

- 11 Vous pouvez les sortir sur imprimante ; pour cela dans le menu **OUTILS**
- choisir le sous-menu : recopie d'écran (touche F7)
 - l'imprimante enregistre tout ce qui est à l'écran avec tous les paramètres nécessaires pour référencer la courbe expérimentale.
 - 1^{ère} courbe sortie !*
 - choisir le sous-menu : grand (touche F5)
 - la courbe seule apparaîtra à l'écran, sous les indications des paramètres de référence.
- 12 Allez dans le menu **TRAITEMENTS**
- choisir le sous-menu : dérivée -
 - la courbe dérivée $\frac{dpH}{dV_B} = f(V_B)$ se superpose à la courbe expérimentale.
 - choisir le sous-menu : tangentes
 - les tracés des tangentes et de la droite D // à ces tangentes se superposent à l'ensemble précédent.
 - Allez dans le menu **OUTILS**
 - choisir le sous-menu : pointeur
 - et avec les flèches et pointer le point d'équivalence.
 - choisir le sous-menu : recopie d'écran (touche F7)
 - et l'ensemble

courbe expérimentale
dérivée
tangentes
et point d'équivalence

 occupant tout l'écran de l'ordinateur
 - sera enregistrée 2^{ème} courbe saisie et FIN !